

Unión Internacional de Telecomunicaciones

UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

Informe UIT-R SM.2354-0
(06/2015)

Procedimiento de prueba para medir la precisión y la inmunidad de los radiogoniómetros mediante simulador

Serie SM
Gestión del espectro

150
ITU
1865-2015



Unión
Internacional de
Telecomunicaciones

Prólogo

El Sector de Radiocomunicaciones tiene como cometido garantizar la utilización racional, equitativa, eficaz y económica del espectro de frecuencias radioeléctricas por todos los servicios de radiocomunicaciones, incluidos los servicios por satélite, y realizar, sin limitación de gamas de frecuencias, estudios que sirvan de base para la adopción de las Recomendaciones UIT-R.

Las Conferencias Mundiales y Regionales de Radiocomunicaciones y las Asambleas de Radiocomunicaciones, con la colaboración de las Comisiones de Estudio, cumplen las funciones reglamentarias y políticas del Sector de Radiocomunicaciones.

Política sobre Derechos de Propiedad Intelectual (IPR)

La política del UIT-R sobre Derechos de Propiedad Intelectual se describe en la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI a la que se hace referencia en el Anexo 1 a la Resolución UIT-R 1. Los formularios que deben utilizarse en la declaración sobre patentes y utilización de patentes por los titulares de las mismas figuran en la dirección web <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/es>, donde también aparecen las Directrices para la implementación de la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI y la base de datos sobre información de patentes del UIT-R sobre este asunto.

Series de los Informes UIT-R

(También disponible en línea en <http://www.itu.int/publ/R-REP/es>)

Series	Título
BO	Distribución por satélite
BR	Registro para producción, archivo y reproducción; películas en televisión
BS	Servicio de radiodifusión sonora
BT	Servicio de radiodifusión (televisión)
F	Servicio fijo
M	Servicios móviles, de radiodeterminación, de aficionados y otros servicios por satélite conexos
P	Propagación de las ondas radioeléctricas
RA	Radio astronomía
RS	Sistemas de detección a distancia
S	Servicio fijo por satélite
SA	Aplicaciones espaciales y meteorología
SF	Compartición de frecuencias y coordinación entre los sistemas del servicio fijo por satélite y del servicio fijo
SM	Gestión del espectro

Nota: Este Informe UIT-R fue aprobado en inglés por la Comisión de Estudio conforme al procedimiento detallado en la Resolución UIT-R 1.

Publicación electrónica
Ginebra, 2015

© UIT 2015

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse por ningún procedimiento sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

INFORME UIT-R SM.2354-0

**Procedimiento de prueba para medir la exactitud y la inmunidad
de los radiogoniómetros mediante simulador**

(2015)

ÍNDICE

	<i>Página</i>
1	Introducción..... 2
2	Configuración de medición 2
2.1	Simulador de ángulo de incidencia..... 2
2.2	Simulador de entorno sin interferencias 3
2.3	Simulador de entorno multitrayecto 3
2.4	Calibración del simulador..... 4
3	Modelización de la antena 5
3.1	Modelización mediante el análisis del campo electromagnético..... 5
3.2	Modelización mediante datos medidos..... 5
4	Procedimiento de medición 6
4.1	Entorno sin interferencias 6
4.2	Entorno multitrayecto 6
5	Consideraciones adicionales para la medición del DF en HF 6
	Anexo 1 – Ejemplo de configuración del simulador de ángulo de incidencia..... 7
	Anexo 2 – Comparación de los resultados medidos con la simulación y los resultados reales 9

1 Introducción

En las Recomendaciones UIT-R SM.2060-0 – Procedimiento de prueba para medir la precisión de la radiogoniometría, y UIT-R SM.2061-0 – Procedimiento de prueba para medir la inmunidad de los sistemas de radiogoniometría a la propagación multitrayecto, se definen procedimientos de prueba destinados a los fabricantes de radiogoniómetros (DF) que permiten a los usuarios comparar la precisión de los sistemas de radiogoniometría de diferentes fabricantes.

El simulador que se describe a continuación proporciona un método de medición alternativo cuando resulta difícil medir la precisión del DF en cámaras anecoicas o emplazamientos de prueba al aire libre (OATS). Resulta especialmente útil a la hora de medir la precisión del DF en zonas donde es difícil proteger el OATS contra interferencia electromagnética y/o adquirir una licencia para medir en un OATS. También es útil para medir la precisión en cámaras anecoicas que no pueden mantenerse a una distancia suficiente respecto del sistema DF cuando se efectúan las pruebas en la banda de ondas decamétricas (HF).

La antena del DF consta de múltiples elementos de antena. La principal característica de este simulador es que simula la amplitud y la fase de las señales de salida que envían los distintos componentes de la antena (señales que en conjunto se denominan «respuesta de grupo»), cuando reciben una señal de entrada desde el exterior. La respuesta de grupo de la antena del DF puede analizarse con un nivel de precisión factible utilizando los instrumentos más modernos de análisis de campos electromagnéticos disponibles hoy en día¹. Obviamente, también es eficaz utilizar datos medidos de la respuesta de grupo real de la antena del DF.

En el Anexo 1 se describe un ejemplo de configuración del simulador de ángulo de incidencia que puede utilizarse con el método de medición que se describe *infra*. En el Anexo 2 se facilitan datos de medición para demostrar que los resultados obtenidos mediante el simulador son comparables a los obtenidos al medir realmente la precisión del DF.

2 Configuración de medición

2.1 Simulador de ángulo de incidencia

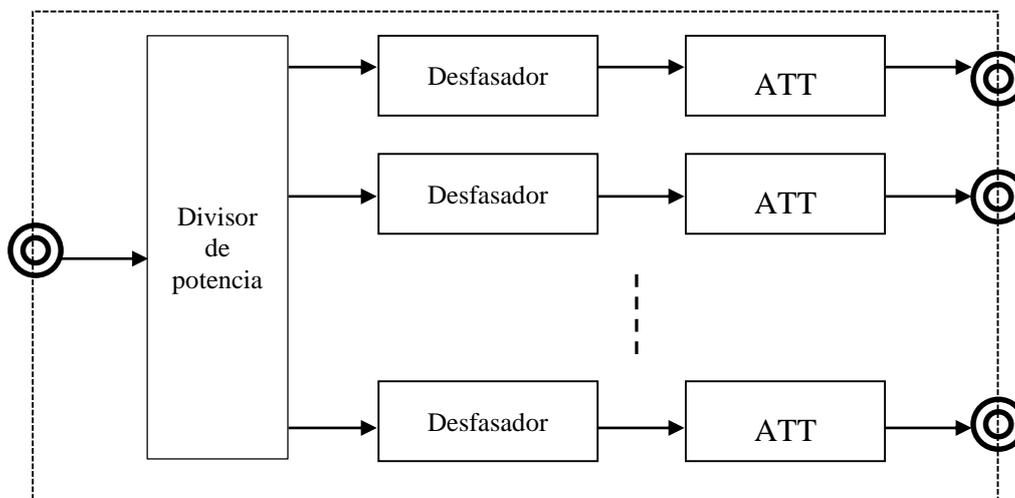
En la Fig. 1 se muestra el circuito básico del simulador de ángulo de incidencia que simula la respuesta de grupo. Este circuito simula las señales eléctricas de salida que envían los respectivos componentes de la antena (es decir, la respuesta de grupo) cuando la antena del DF recibe una señal a un determinado acimut. Este simulador de ángulo de incidencia tiene muchas de las funciones del simulador de acimut descrito en el Informe UIT-R SM.2125, pero además toma en consideración el ángulo de elevación.

Las señales de entrada y salida de este simulador de ángulo de incidencia son señales RF. Este simulador responde a diversas condiciones de la señal de salida. No sólo las diferencias de fase causadas por la disposición de los componentes de la antena y la amplitud determinada por la directividad de éstos, sino también la variación de amplitud y fase por acoplamiento mutuo entre los componentes de la antena e incluso el efecto de la interferencia debida a la estructura de la antena (como la causada por el mástil de la antena, etc.) puede reflejarse en la salida para la frecuencia de prueba.

¹ Ejemplos de herramientas de análisis de campos electromagnéticos son: software no comercializado: «NEC-4» desarrollado por el Laboratorio Nacional Lawrence Livermore de EE.UU. y la Universidad de California; software comercializado: «ANSYS HFSS» con licencia de ANSYS, Inc., y «CST STUDIO SUITE» con licencia de Computer Simulation Technology AG.

Es posible simular la señal de salida que cada componente de la antenna envía, modificando la configuración del desfasador y atenuador (ATT) en función del ángulo de incidencia de la señal entrante.

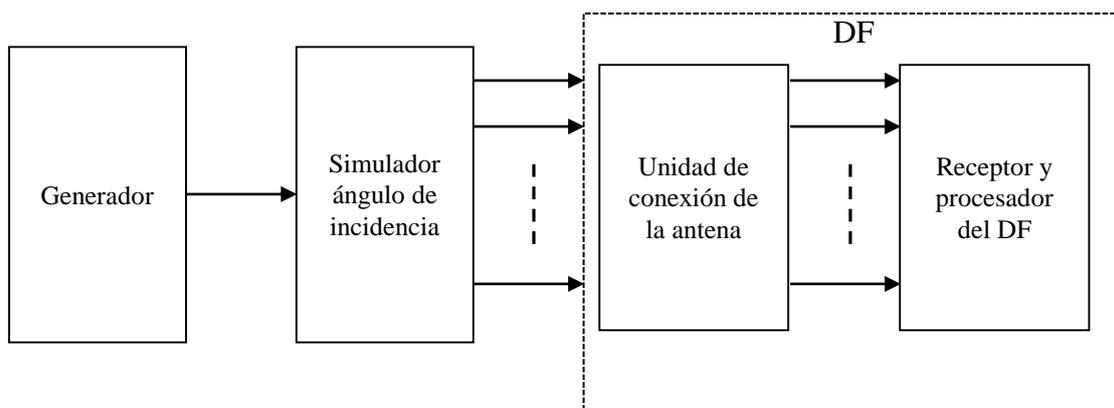
FIGURA 1
Circuito básico del simulador de ángulo de incidencia



2.2 Simulador de entorno sin interferencias

La configuración del simulador para simular una sola señal de entrada se ilustra en la Fig. 2. Esta configuración simula el entorno de prueba de la Fig. 1 de la Recomendación UIT-R SM.2060. El generador produce una señal que se envía al simulador de ángulo de incidencia, que simula la señal de salida de la antenna del DF. La señal de salida del simulador de ángulo de incidencia se conecta a la unidad de conexión de la antenna del radiogoniómetro. Por consiguiente, se prueba el sistema de radiogoniometría, salvo su antenna.

FIGURA 2
Configuración del simulador para una sola señal de entrada



2.3 Simulador de entorno multitrayecto

En la Fig. 3 se ilustra la configuración del simulador para el caso multitrayecto en el que la señal emitida de una sola fuente llega a través de varios trayectos. Esta configuración simula el entorno de prueba de la Fig. 1 de la Recomendación UIT-R SM.2061.

Mediante un divisor de potencia, la señal generada por el generador se divide en dos señales, una que representa la señal principal y la otra la señal reflejada. Se puede controlar la amplitud y el desfase de las señales principal y reflejada.

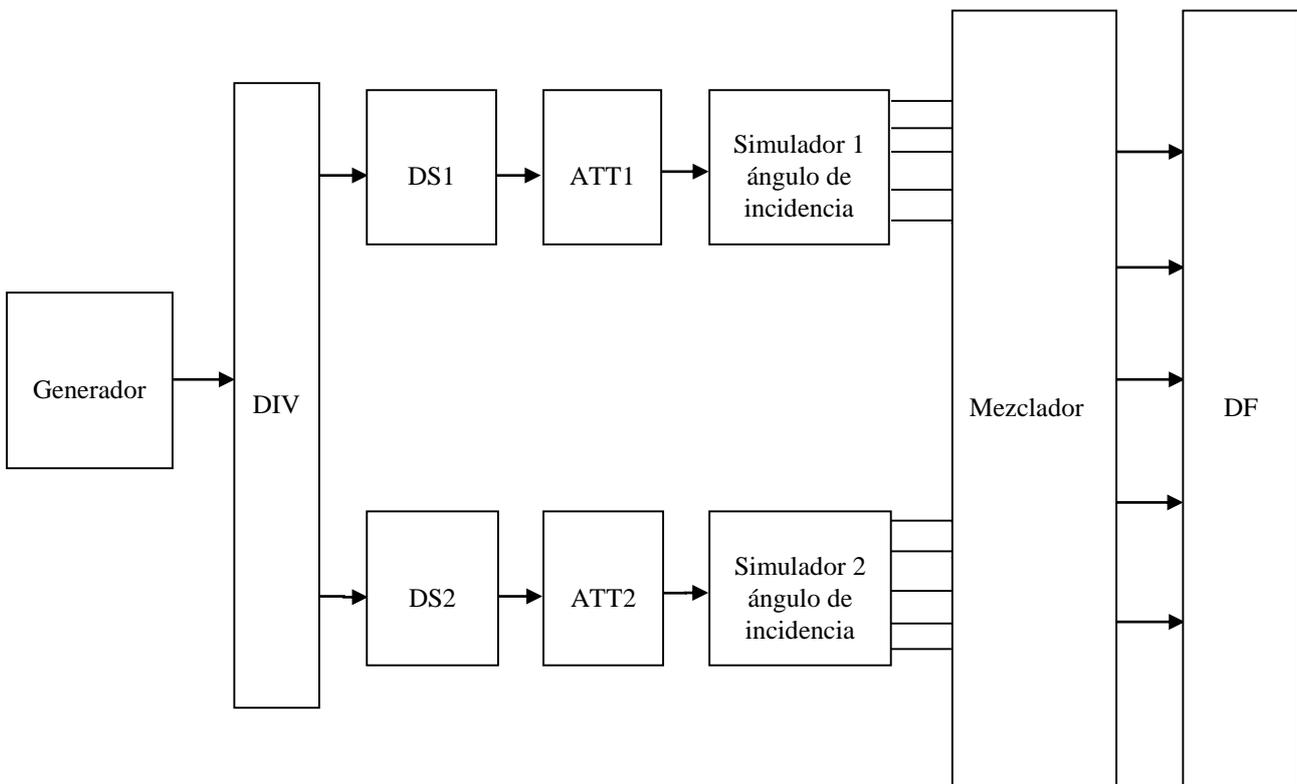
Las líneas de transmisión de las señales principal y reflejada se conectan respectivamente a los simuladores de ángulo de incidencia 1 y 2, que simulan la respuesta de la antena del DF a los respectivos ángulos de incidencia de las señales principal y reflejada.

Las señales de salida de los dos simuladores de ángulo de incidencia se combinan para cada componente de la antena a fin de reproducir la recepción de señales procedentes de cada uno de estos elementos. Así se puede simular la recepción de señales de la antena del DF en un entorno de propagación por trayectos múltiples.

La señal de salida combinada se conecta a la unidad de conexión de antena del radiogoniómetro.

FIGURA 3

Configuración del simulador para una señal multitrayecto



DS: Desfasador

2.4 Calibración del simulador

El simulador debe calibrarse periódicamente o antes de su utilización. La precisión del simulador puede comprobarse midiendo su señal de salida mediante un analizador de red disponible en el mercado.

Para tomar las medidas, se seleccionan dos de los múltiples puertos de salida del simulador y se conectan al puerto de referencia y al puerto de medición del analizador de red. Se configura el simulador y el analizador de red a la frecuencia que se desea probar. Se selecciona la fase y la amplitud de los dos puertos de salida del simulador y se mide la diferencia de fase y de amplitud de

los dos puertos utilizando el analizador de red. Se registra la diferencia entre los datos medidos y los valores estipulados en el simulador. Se registra como valor de calibración la diferencia entre los datos medidos y los valores seleccionados en el simulador.

El simulador se configura con cierto conjunto de amplitudes y fases que representan la respuesta de grupo durante la simulación. Se puede lograr una simulación precisa corrigiendo la amplitud y la fase con arreglo al valor obtenido en la calibración. La calibración puede ser más precisa si el simulador dispone de un puerto de referencia.

3 Modelización de la antena

La respuesta de grupo de la antena del DF puede obtenerse utilizando uno de los métodos de modelización antes descritos.

3.1 Modelización mediante el análisis del campo electromagnético

La respuesta de grupo de la antena del DF puede obtenerse mediante una herramienta (software) de análisis del campo electromagnético. Antes de proceder al análisis se configura la forma mecánica de la antena y la impedancia de salida de los componentes de la antena. Se analiza la solución en el campo lejano (la solución cuando la fuente de emisión está situada a una distancia infinita) utilizando herramientas de análisis del campo electromagnético para obtener señales de salida que se enviarán desde cada componente de antena cuando el receptor de antena del DF recibe una señal de entrada a una determinada frecuencia y con un ángulo de incidencia específico. El resultado de este análisis refleja no sólo la diferencia de fase causada por la disposición espacial de los componentes de antena y los de amplitud determinada por la directividad de cada componente, sino también el acoplamiento mutuo entre los componentes de la antena y la interferencia causada por el mástil de la antena y otras partes de su estructura. A continuación se convierten los datos de salida obtenidos mediante la herramienta de análisis del campo electromagnético a la fase y amplitud del voltaje recibido y se registran. Se repite el análisis para diferentes ángulos de incidencia. La fase y la amplitud de los datos correspondientes a cada componente de antena obtenidas para diferentes acimuts constituye la respuesta de grupo de la antena del DF para los respectivos acimuts de incidencia.

Obsérvese que cuando se realiza el análisis del campo electromagnético además del acimut de incidencia también se puede configurar el ángulo de elevación.

3.2 Modelización mediante datos medidos

Para las frecuencias que se pueden medir en una cámara anecoica o en un OATS, se realiza una medida real y se registra la fase y amplitud de la señal de salida de cada componente de antena. Estos datos pueden utilizarse en la simulación como respuesta de grupo de la antena del DF. Para realizar una medición real, se utiliza la configuración de la Fig. 1 de la Recomendación UIT-R SM.2060 – Procedimiento de prueba para medir la precisión de la radiogoniometría, en una cámara anecoica o un OATS. Se configura el dispositivo para registrar la fase y la amplitud de la señal de salida multicanal de la antena del DF.

Se utilizan las antenas transmisoras (Tx) para emitir señales a la frecuencia de prueba y se reciben las señales con la antena del DF (Rx). Mediante la plataforma giratoria se gira la antena en pasos de acimut adecuados para el DF que se está probando. Para cada paso de acimut se registra la fase y la amplitud de la señal de salida del sistema receptor correspondiente a cada componente de antena.

Se obtienen los datos de fase y amplitud correspondientes a cada componente de antena para cada acimut. Estos datos constituyen la respuesta de grupo de la antena del DF para los respectivos acimuts de incidencia.

4 Procedimiento de medición

4.1 Entorno sin interferencias

Se toman las medidas en la configuración descrita en la Fig. 2 del § 2.2 y utilizando los parámetros indicados en el Cuadro 1 de la Recomendación UIT-R SM.2060. Se sintoniza el simulador de ángulo de incidencia a la fase y amplitud (o atenuación) adecuadas para la frecuencia y acimut que se desea probar utilizando los datos de la respuesta de grupo obtenidos con arreglo a los § 3.1 ó 3.2 *supra*. La fase y la amplitud (o atenuación) se deben fijar por separado para cada línea correspondiente a cada componente de la antena del DF.

En primer lugar, se configura el generador para producir una señal a la frecuencia f_1 . El simulador de ángulo de incidencia se configura a la fase y amplitud (o atenuación) correspondientes a la frecuencia f_1 y al acimut especificado. Se registra la señal de salida del DF para dicho acimut. Se toman medidas sucesivas para todos los acimuts especificados.

A continuación se configura el generador para producir una señal de frecuencia f_2 . El simulador de ángulo de incidencia se configura a la fase y amplitud (o atenuación) correspondiente y se toman medidas como en el caso anterior. Se toman medidas reiteradamente para las frecuencias f_3 a f_{16} .

4.2 Entorno multitrayecto

Se toman las medidas en la configuración descrita en la Fig. 3 del § 2.3y utilizando los parámetros indicados en el Cuadro 1 de la Recomendación UIT-R SM.2061 – Procedimientos de prueba para medir la inmunidad de los sistemas de radiogoniometría a la propagación multitrayecto. Se configuran los simuladores de ángulo de incidencia s_1 y s_2 a la fase y amplitud (o atenuación) adecuadas para la frecuencia y acimut que se desea probar utilizando los datos de la respuesta de grupo obtenidos con arreglo a los § 3.1 ó 3.2 *supra*. La fase y la amplitud (o atenuación) se deben fijar por separado para cada línea correspondiente a cada componente de la antena del DF.

Se configura ATT1 y ATT2 a 0 dB y 6 dB, respectivamente, y DS1 a 0 grados. Estos valores no deben modificarse durante todo el procedimiento de medición.

En primer lugar, se configura el generador para producir una señal a la frecuencia f_1 . El simulador de ángulo de incidencia s_1 se configura a la fase y amplitud (o atenuación) correspondientes a la frecuencia f_1 y al acimut real especificado. El simulador de ángulo de incidencia s_2 se configura a la fase y amplitud (o atenuación) correspondientes a la frecuencia f_1 y al acimut especificado con una diferencia de ángulo de incidencia $\Delta\theta$. El DS2 se va alternando entre las tres fases especificadas de $\Delta\phi$, una cada vez. Se registra la señal de salida del DF para cada acimut.

A continuación se configura el simulador de ángulo de incidencia s_2 al segundo valor especificado de $\Delta\theta$ y se registra la señal de salida del DF para cada acimut, alternando entre las tres fases de $\Delta\phi$, una cada vez. Se repite la medición para el tercer valor de $\Delta\theta$.

Mediante el procedimiento anterior se toman las medidas para la frecuencia f_1 . Luego se configura el generador para las frecuencias f_2 a f_M y se repite el procedimiento de medición hasta finalizar el procedimiento para todas las frecuencias especificadas.

5 Consideraciones adicionales para la medición del DF en HF

También es posible medir la precisión del DF para señales entrantes a un determinado ángulo de elevación. Como ya se ha indicado anteriormente, la medición de la precisión del DF en HF en una cámara anecoica o emplazamiento OATS implica cierto grado de dificultad, pero resulta incluso más difícil medir las señales de entrada con un ángulo de elevación, dado que además del plano horizontal se necesita espacio en la dirección vertical.

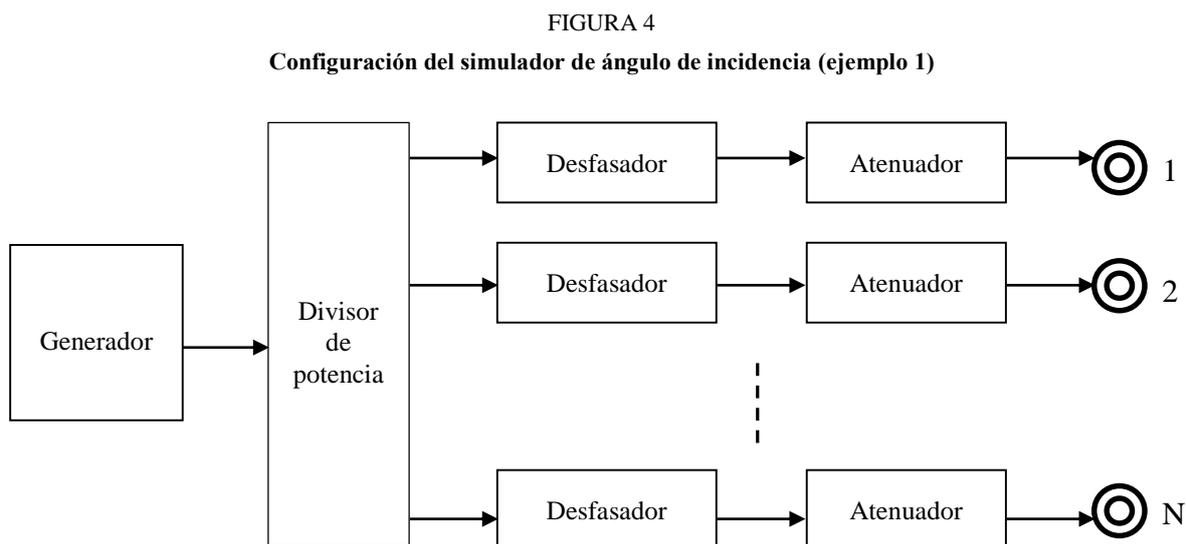
No obstante, mediante el análisis del campo electromagnético descrito en el § 3.1 es posible obtener la fase y la amplitud de la señal de salida producida por cada componente de antena del DF cuando ésta recibe señales entrantes a un cierto ángulo de elevación. La precisión del DF en HF cuando recibe una señal a una frecuencia, acimut y ángulo de elevación determinados puede medirse utilizando los datos obtenidos a partir del análisis del campo electromagnético para la configuración del simulador.

Anexo 1

Ejemplo de configuración del simulador de ángulo de incidencia

A continuación se dan ejemplos de configuración del simulador.

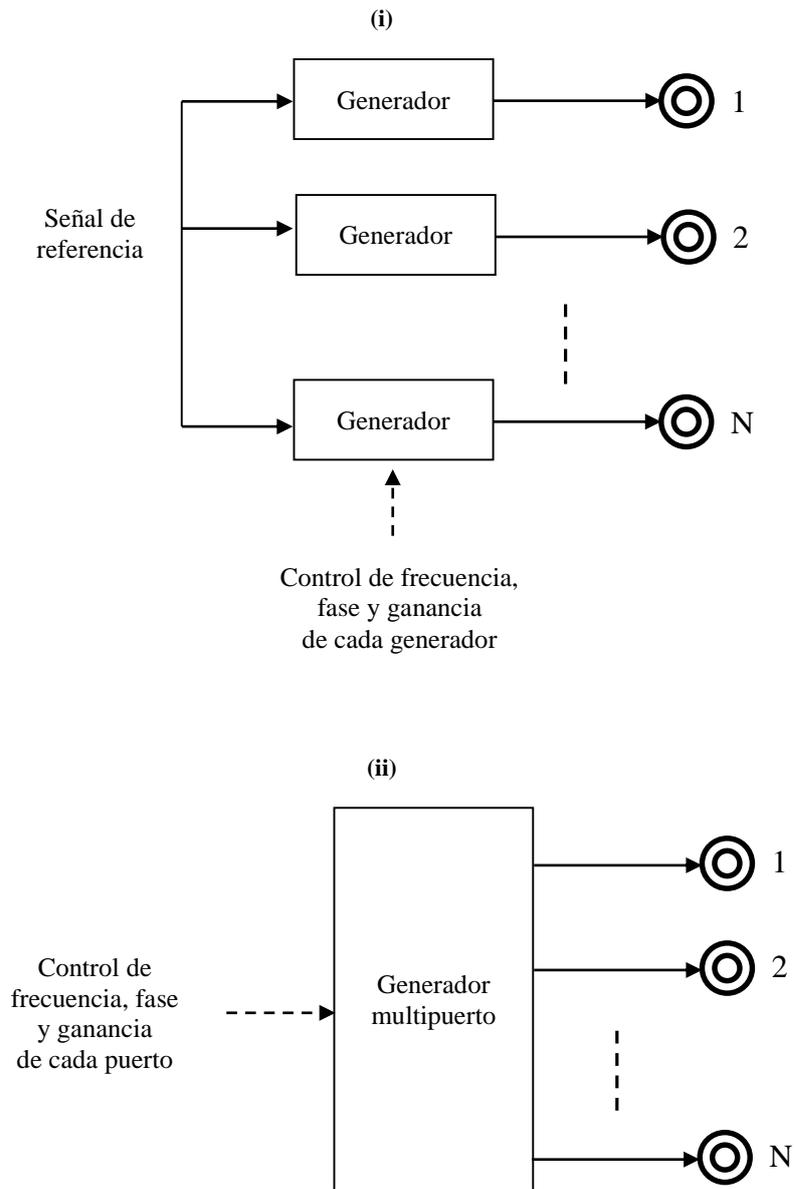
- a) El divisor de potencia, los desfasadores y los atenuadores del módulo de circuito analógico se conectan como se indica a continuación (Fig. 4) a fin de simular las señales de salida de la antena del DF integrada por N componentes.



- b) La configuración de la Fig. 5 requiere la utilización de generadores de señal controlables por fase disponibles comercialmente que permiten el funcionamiento síncrono de varias unidades. Se necesita el mismo número de unidades que el número de componentes que integran la antena del DF y se generan señales CW. Según el método mostrado en la Fig. 5 (i), a fin de simular la respuesta de grupo se configura una frecuencia, fase y ganancia (amplitud) específicas de cada generador de señal. Ahora bien, algunos modelos recientes de generadores de señal disponen de múltiples puertos de salida. La configuración es mucho más sencilla si se utilizan este tipo de generadores multipuerto, como se muestra en la Fig. 5 (ii).

FIGURA 5

Configuración del simulador de ángulo de incidencia (ejemplo 2)



Anexo 2

Comparación de los resultados medidos con la simulación y los resultados reales

1 Simulación del campo electromagnético de la antena

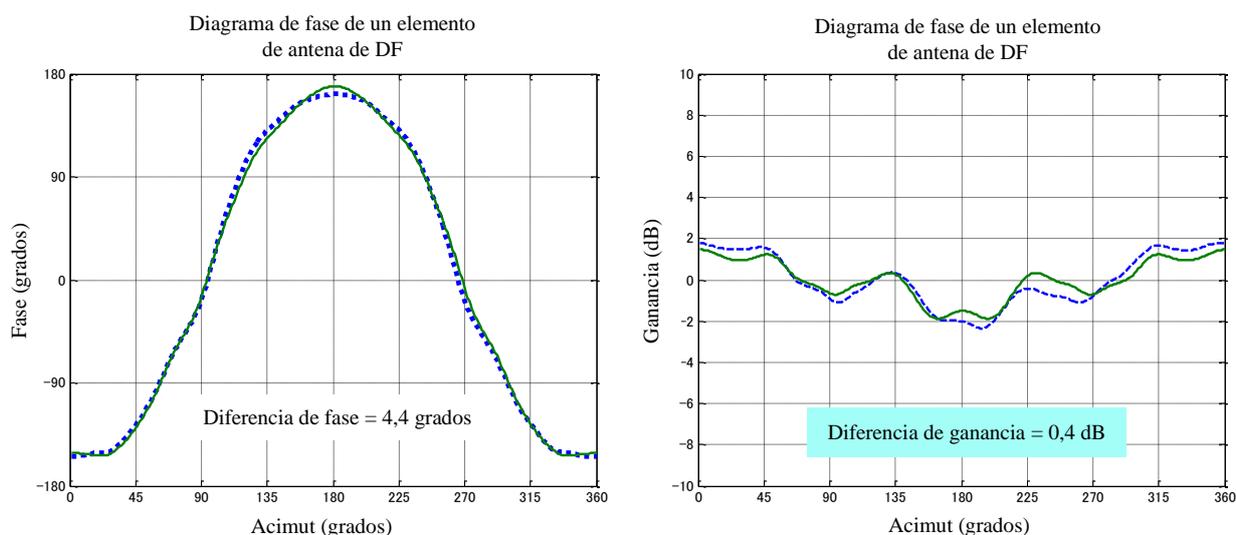
La respuesta de grupo de la antena del DF se puede obtener mediante simulación utilizando una calculadora.

En el análisis del campo electromagnético se utilizan técnicas tales como el método de los momentos (MoM) y el método de diferencias finitas en el dominio del tiempo (FDTD). Existen diversos tipos de software de análisis de campos electromagnéticos, como NEC-4 diseñado por el Laboratorio Nacional de EE.UU. Lawrence Livermore y la Universidad de California así como otro software disponible comercialmente. Pueden obtenerse datos de la respuesta de grupo con la misma precisión que los resultados medidos reales mediante software basado en los métodos más recientes de análisis de campos electromagnéticos.

En la Fig. 6 se muestran ejemplos de resultados de análisis y resultados medidos reales de la fase y la ganancia de un determinado componente de antena para un sistema de antenas de cinco componentes. Las líneas continuas y discontinuas representan, respectivamente, los resultados calculados y los medidos reales. La frecuencia de prueba era de 402 MHz. La diferencia entre los resultados del análisis y los reales era de aproximadamente 4,4 grados para la fase y 0,4 dB para la amplitud.

FIGURA 6

Comparación entre los resultados del análisis del campo electromagnético (línea continua) y los medidos reales (línea discontinua)

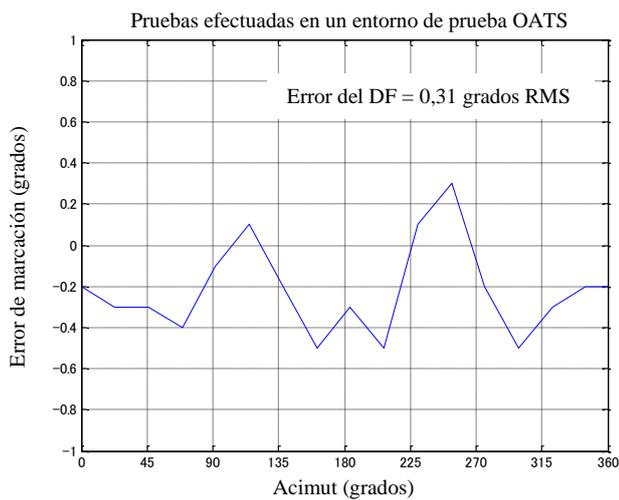


2 Comparación entre los resultados de pruebas OATS y los obtenidos con el simulador

En la Fig. 7 se muestran los resultados de pruebas de un DF con un sistema de antenas de cinco componentes. La frecuencia de pruebas era de 402 MHz. El entorno de prueba utilizado en el OATS era equivalente al descrito en la Fig. 1 de la Recomendación UIT-R SM.2060.

La precisión del DF medida en el entorno de prueba OATS era de 0,31 grados en valor eficaz (RMS), mientras que la precisión del DF obtenida mediante el análisis de la respuesta de grupo utilizando un simulador era de 0,11 grados RMS. Los resultados reales medidos contienen errores de acimut debidos a las condiciones del emplazamiento de prueba, el tipo de instalación de la antena del DF y el movimiento de la plataforma de rotación, además de los errores de medición del propio radiogoniómetro. Aunque los resultados de prueba utilizando el simulador indican errores de medición de acimut inferiores a los resultados obtenidos en el OATS, se puede llegar a la conclusión de que este método permite obtener una exactitud suficiente para evaluar la precisión del DF.

FIGURA 7

Comparación entre la precisión del DF obtenida mediante medición real y simulación**(i) Medición real****(ii) Simulación**